

综合物化探技术在广西铅锌矿勘查中的创新应用与成效

廖海志, 黄光爱, 叶少剑

广西壮族自治区地球物理勘察院, 广西 柳州 545005

摘要: 本论文聚焦广西铅锌矿勘查, 针对找矿难题开展综合物化探研究。收集整理区内铅锌矿物化探老资料并二次开发, 采集物性标本测定分析, 在典型矿区开展方法试验, 建立地质-地球物理-地球化学找矿模型。研究划分广西铅锌矿为层控型、岩控型、热液型和复控型四种类型, 总结了物化探方法在勘查中的应用成果、有效性和局限性, 明确了大瑶山西侧、博白-岑溪、丹池等成矿带的最佳物化探方法组合。如激电法在部分矿区浅层找矿效果良好, CSAMT、TEM 等在深部找矿优势显著。同时, 针对低阻屏蔽等干扰问题提出有效解决措施。本研究首次系统总结广西铅锌矿物化探找矿成果, 建立的找矿模型对成矿预测和深部找矿意义重大, 为后续大规模地质勘查提供关键技术支撑和找矿方向。

关键词: 综合物化探; 铅锌矿勘查; 找矿模型; 广西

中图分类号: P618.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-5065(2025)10-0180-3

Innovative Application and Effectiveness of Comprehensive Physical and Chemical Exploration Technology in the Exploration of Lead-Zinc Mines in Guangxi

LIAO Hai-zhi, HUANG Guang-ai, YE Shao-jian

Guangxi Zhuang Autonomous Region Geophysical Survey Institute, Liuzhou 545005, China

Abstract: This paper focuses on the exploration of lead-zinc deposits in Guangxi and conducts comprehensive physical and chemical exploration research to address the challenges of mineral exploration. Collect and organize old data on lead and zinc mineral geochemical exploration in the area, conduct secondary development, collect physical property specimens for determination and analysis, conduct method experiments in typical mining areas, and establish a geological geophysical geochemical prospecting model. Guangxi lead-zinc deposits are divided into four types: stratabound type, rock controlled type, hydrothermal type and multiple controlled type. The application achievements, effectiveness and limitations of geophysical and geochemical exploration methods in exploration are summarized, and the best combination of geophysical and geochemical exploration methods in the western Dayao, Bobai Cenxi, Danchi and other metallogenic belts is defined. The induced polarization method has shown good results in shallow mineral exploration in some mining areas, while CSAMT, TEM, and other methods have significant advantages in deep mineral exploration. Meanwhile, effective solutions are proposed to address interference issues such as low impedance shielding. This study systematically summarizes the results of lead zinc mineral geochemical exploration in Guangxi for the first time. The established exploration model has significant implications for ore prediction and deep exploration, providing key technical support and exploration directions for subsequent large-scale geological exploration.

Keywords: comprehensive physical and chemical exploration; Lead zinc ore exploration; Mineral exploration model; Guangxi

铅锌矿作为重要的有色金属矿产资源, 在工业领域应用广泛。广西拥有丰富的铅锌矿资源, 其成矿地质条件复杂多样, 为综合物化探技术的应用提供了广阔空间。随着找矿难度的不断加大, 传统找矿方法逐渐难以满足需求, 综合物化探技术凭借其独特优势, 在铅锌矿勘查中发挥着日益重要的作用。本研究旨在系统总结综合物化探在广西铅锌矿勘查中的应用成果, 分析其方法有效性和局限性, 建立找矿模型, 为后续找矿工作提供科学依据和技术指导。

1 广西铅锌矿地质背景

1.1 区域地质概况

广西地处特提斯-喜马拉雅构造域与滨太平洋构造域的复合部位, 其地层发育齐全, 岩浆活动频繁, 变质作用复杂, 地质构造多样。自元古界至第四系均有出露, 中泥盆统至下三叠统以碳酸盐岩为主, 其余地层主要为碎屑岩。丹洲群、震旦系、寒武系、奥陶系和泥盆系为铅锌矿含矿层位,

其中泥盆系、寒武系是主要含矿地层。岩浆活动与成矿作用关系密切, 燕山期花岗岩与钨、锡、钼、铅、锌、稀土矿等的形成紧密相关。区域内褶皱、断裂构造发育, 不同方向的断裂对沉积岩相、岩浆活动和矿产分布具有显著控制作用。

1.2 铅锌矿成矿区带及矿床类型

广西铅锌矿分布广泛, 集中于多个成矿区带, 可划分为三级成矿单元8个、四级成矿单元10个、五级成矿单元28个。主要成矿区带包括大瑶山西侧成矿带、博白-岑溪成矿带、丹池成矿带等。依据成矿地质背景、控矿因素等, 广西铅锌矿可分为层控型、岩控型、热液型和复控型四种类型。各类型矿床在赋矿地层、矿体形态、矿石矿物成分、围岩蚀变等方面具有独特特征, 如层控型铅锌矿床主要赋矿地层为泥盆系, 受地层层位、岩相古地理环境和构造联合控制; 复控型铅锌矿床产于花岗岩类岩体外接触带, 受多种因素联合控制。

2 物化探工作方法及技术

2.1 地球物理方法

2.1.1 重力勘探

重力勘探依据岩石密度差异来探测地质体。广西区域重力场呈现出明显的分区特征, 不同成矿区带重力异常特征各异。例如, 大瑶山西侧成矿带处于桂中平缓重力异常带东

收稿日期: 2025-03

作者简介: 廖海志, 男, 生于1977年, 广西象州人, 本科, 地质矿产高级工程师, 研究方向: 地质矿产勘查。

通讯作者: 黄光爱, 男, 生于1973年, 广西灌阳人, 工程硕士, 地质矿产高级工程师, 研究方向: 地质矿产勘查。

缘、大瑶山复杂重力异常区西侧，布格重力异常值大致呈北东向不规则状展布，属重力高带异常。通过对重力异常的分析处理，可推断隐伏岩体、断裂构造等地质体的存在，为找矿提供重要线索。

2.1.2 磁法勘探

磁法勘探利用岩石磁性差异进行找矿。广西岩石磁性特征多样，超基性岩磁性最强，基性岩、中性岩次之，酸性岩磁性最弱。航磁异常显示，广西磁场可分为东西两大景观区，不同成矿区带磁异常特征不同。如博白-岑溪成矿带为云开复杂航磁异常区带，局部航磁异常沿深断裂带分布，与铅锌矿关系密切。磁异常能反映隐伏岩浆岩体、矿化蚀变带等信息，对寻找与磁性矿物有关的铅锌矿具有重要指示作用。

2.1.3 电法勘探

电法勘探基于岩石电学性质差异开展工作，包括激发极化法、自然电场法、可控源音频大地电磁法(CSAMT)、瞬变电磁法(TEM)等多种方法。激发极化法通过观测岩石的极化特性寻找铅锌矿，在广西多个铅锌矿区取得了良好效果。自然电场法利用电子导电矿体的天然电化学反应等形成的电场进行找矿，但干扰因素较多。CSAMT具有工作效率高、勘探深度大等优点，能有效探测深部地质体。TEM在高阻围岩中寻找低阻地质体灵敏度高，异常响应强。

2.2 地球化学方法

地球化学方法通过分析土壤、水系沉积物等样品中元素的含量和分布特征，来研究成矿地球化学背景和异常。广西1:20万区域化探扫描面涵盖全境，获取了丰富的地球化学数据。研究发现，Pb、Zn等元素在广西部分地质单元中呈富集状态，且元素共生组合特征明显。通过编制地球化学图和异常图，可圈定元素高值区、异常密集区，为找矿提供地球化学依据。

3 综合物化探在主要成矿区带的应用成果

3.1 大瑶山西、南侧成矿带

3.1.1 物化探异常特征

该成矿带重力异常呈现出北东向条带状异常，金秀、桂平、贵港等地存在多个剩余异常圈闭，推断与酸性岩体有关。磁异常表现为桂中正磁异常区的相对高值磁场，局部叠加高磁力异常，与隐伏花岗岩磁性矿化蚀变带相关。化探异常显示，在新造-六峰山及波吉-司律一带，Pb、Zn、Cu及Ag、Ba元素化探异常呈北东走向或近南北走向，与断裂构造、含矿层位吻合良好。

3.1.2 典型矿床物探勘查效果

以武宣盘龙铅锌矿为例，激电勘探在该矿区效果显著。上世纪八十年代和本世纪初的激电勘探结果表明，激电中梯+激电测深组合在探测200m以浅的硫化矿时效果良好，能清晰圈定矿体平面分布范围，反映矿体倾向特征。CSAMT和TEM在深部找矿中也发挥了重要作用，可有效探测深部矿体及断裂构造。武宣古立-朋村铅锌硫铁矿与盘龙矿区成矿地质条件相似，激电中梯+激电测深同样是该矿区200m以浅的最佳物探手段，对于深部矿体，可采用激电中梯+激电测深+CSAMT或TEM组合进行探测。

3.2 博白-岑溪成矿带

3.2.1 物化探异常特征

博白-岑溪成矿带处于区域重力云开重力低异常区，重

力场表现为局部重力高、低异常过渡带和重力梯度带。航磁异常显示为云开复杂航磁异常区带，局部异常密集成群，与铅锌矿及岩浆活动关系密切。化探异常表明，该带内Au、As、Bi、Hg、Pb、Sb等元素含量高且分异程度高，局部形成重要矿床。

3.2.2 典型矿床物探勘查效果

岑溪市佛子冲铅锌矿田是该带的重要矿床。激电勘探在该矿田能有效圈定找矿靶区，如龙湾铅锌矿的激电找矿发现了多个异常带，经钻孔验证见到了铅锌矿体。白板测区、六塘测区等的激电异常验证也取得了良好效果，为矿区扩大找矿提供了重要依据。佛子冲矿田物探方法组合为：间接找矿采用重力、磁法及CSAMT组合探测隐伏或半隐伏岩体；直接找矿以激发极化法和高精度磁测为主，辅以CSAMT、TEM获取深部找矿信息。博白县东桃铅锌矿区激电找矿效果显著，激电中梯、激电测深异常明显，经钻探验证，多个钻孔打到了具工业价值的铅锌矿体。

3.3 丹池成矿带

3.3.1 物化探异常特征

丹池成矿带布格重力异常呈北西向条带状，剩余异常出现多个北西向圈闭的重力低异常，推断由花岗岩体形成。磁异常 ΔT 等值线异常特征明显，呈北西向。地球化学异常显示，与铅锌矿成矿关系密切的元素组合为Pb-Zn-Sb-Ag，异常与矿床吻合极好。

3.3.2 典型矿床物探勘查效果

大厂矿田是丹池成矿带的重要矿区。航磁、重力异常反映了赋存有锡铅锌多金属矿的磁黄铁矿化蚀变范围，可作为圈定隐伏岩体和找矿的重要标志。TEM在铜坑-大树沟试验剖面，经钻探验证见到了厚大矿体。CSAMT在羊角尖-茶山区圈定了隐伏花岗岩凸和低阻异常，为深部找矿指明了方向，根据物探信息，接替资源勘查取得重大突破。

4 干扰地区方法突破试验及效果

4.1 低阻屏蔽问题及解决方法

在电法勘探中，低阻屏蔽现象严重影响勘探效果。在广西部分地区，如南丹罗富地区和三江老堡地区，由于存在碳质岩与砂岩、页岩地层等，形成了高导电层，导致电流难以穿透到深部。为克服低阻屏蔽，可采用低频交流供电替代直流供电，或选用其他勘探方法，如地震勘探等。若必须使用电法勘探，则可采取减小收发距、采用频率域激电法等措施。

4.2 南丹罗富地区试验

在南丹罗富地区的试验中，时间域激电法受低阻屏蔽影响较大，无法采集到稳定可靠的二次电场信号。CSAMT勘探全频段电磁信号正常稳定，能清晰反映构造和岩性分界特征以及深部高阻地质体的展布特征。频率域激电测深在一定程度上能克服低阻屏蔽，数据稳定，可有效反映矿区地电断面特征。

4.3 三江老堡地区试验

三江老堡地区出露地层含碳较多，低阻明显。时间域中间梯度及单极梯度装置试验受低阻屏蔽影响大，时间域激电测深在 $AB/2 > 400m$ 段观测信号不稳定，勘探深度受限。CSAMT能有效“穿透”低阻屏蔽层，分辨出震旦系与南华系的电性分界面。频率域激电法在该地区试验效果不佳，有待进一步研究。

5 综合物化探找矿模型建立

5.1 大瑶山西侧成矿带层控型铅锌矿床综合找矿模型

大瑶山西侧成矿带层控型铅锌矿床综合找矿模型,以武宣-象州式碳酸盐岩铅锌矿为典型代表。在构建模型时,全面综合了地层、构造、岩浆岩、地球物理和地球化学等多方面因素。从地层角度看,泥盆系是主要赋矿层位,其特定的岩相古地理环境为铅锌矿的形成提供了物质基础。构造上,褶皱和断裂控制着矿体的分布与富集。岩浆岩虽相对不发育,但对成矿有重要影响,提供了部分热源和物源。

地球物理方面,该区域岩石物性差异显著。铅锌矿呈现高极化和低电阻特性,与周围微极化、高电阻的围岩形成鲜明对比,这为物化探方法提供了良好的应用前提。比如在寻找浅部隐伏矿时,激电法成为关键手段。激电中梯和激电测深相互配合,能有效圈定异常区域,确定浅部矿体的大致位置。对于深部500 m~2000 m与隐伏花岗岩体有关的隐伏矿,重磁方法发挥着重要作用。通过重磁测量圈定隐伏岩体边界,再借助高精度磁测配合CSAMT(TEM),进一步精准确定矿化部位。之后通过钻探查证,并结合井中磁测、井中激电等手段,更准确地了解矿体情况。地球化学测量则能通过分析元素的分布特征,辅助判断矿化区域,为找矿提供多维度信息。该模型通过整合多种信息,确定了找矿标志和最佳物化探方法组合,为大瑶山西侧成矿带层控型铅锌矿床的勘探工作提供了科学有效的指导,极大提高了找矿的准确性和效率。

5.2 博白-岑溪成矿带复控型铅锌矿综合找矿模型

博白-岑溪成矿带复控型铅锌矿综合找矿模型以佛子冲式碳酸盐岩-细碎屑岩型铅锌矿床为典型代表。此模型着重强调控矿层位、控矿构造和成矿母岩的联合作用,这三者相互关联,共同控制着铅锌矿的形成与分布。

控矿层位主要集中在奥陶系和志留系,赋矿岩石为变质砂页岩夹砂卡岩、大理岩及混合岩,为成矿提供了物质基础。控矿构造方面,褶皱断裂发育,北北东向、北东向等断裂是主要的成矿和贮矿构造,为含矿热液的运移和沉淀提供了通道和空间。成矿母岩主要为燕山期的花岗闪长岩、花岗斑岩等,这些岩体富含成矿物质,且为成矿提供了热源。

在找矿过程中,综合运用多种物探和化探方法至关重要。激电中梯和激电测深能够利用铅锌矿与围岩的电性差异,有效圈定异常区域,判断矿体的大致位置和产状。高精度磁测则借助铅锌矿与磁黄铁矿的伴生关系,通过测量磁性异常来辅助找矿。地球化学测量分析土壤、水系沉积物等样品中元素的含量和分布,确定元素的异常区域,为找矿提供重要线索。将这些方法与地质背景相结合,能够更准确地判断成矿有利地段,有效圈定找矿靶区。通过对物探异常与地质体关系的深入研究,建立起的这套找矿模型,为博白-岑溪成矿带复控型铅锌矿的勘探工作提供了有力的技术支持,显著提高了找矿的成功率。

5.3 丹池成矿带复控型铅锌矿综合找矿模型

丹池成矿带复控型铅锌矿综合找矿模型以大厂式铅锌多金属矿田为典型代表,该模型突出了隐伏花岗岩体与矿化蚀变带之间的紧密关系。在丹池成矿带,隐伏花岗岩体对铅锌矿的形成和分布起着关键作用,其周边的矿化蚀变带是重要的找矿目标。

通过对重磁异常的分析,可有效圈定隐伏花岗岩体的位置和范围。由于隐伏花岗岩体与围岩存在密度和磁性差异,在重磁测量中会呈现出明显的异常特征。重力异常能够反映出岩体的大致位置,而磁异常则可以进一步确定岩体的边界和内部结构。地球化学异常分析则聚焦于与铅锌矿成矿关系密切的元素组合,如Pb-Zn-Sb-Ag等。这些元素在成矿过程中会形成特定的异常分布,通过对1:20万化探资料的研究,能够清晰地看到异常与矿床的吻合情况,为找矿提供重要依据。

电法异常在该模型中也具有重要意义。TEM和CSAMT等电法手段在探测深部矿体方面发挥着关键作用。TEM能够利用其高阻围岩中寻找低阻地质体的优势,有效发现厚大矿体。CSAMT则可通过测量不同频率的电磁场,获取地下地质体的电阻率信息,从而圈定隐伏花岗岩凸出和发现低阻矿化区域。综合运用这些物化探方法,能够准确确定深部找矿的关键部位。该模型为丹池成矿带的深部找矿工作提供了重要指导,对提高该地区铅锌矿的勘探效率和找矿成功率具有重要意义,为后续的矿产开发奠定了坚实基础。

6 结论与展望

6.1 研究成果总结

本研究系统总结了广西铅锌矿的地质特征、物化探工作方法及应用成果。明确了广西铅锌矿的成矿区带和矿床类型,分析了不同类型矿床的地球物理和地球化学特征。通过大量的试验和研究,建立了三个成矿区带典型矿床的综合找矿模型,确定了不同矿床类型的最佳物化探方法组合。综合物化探在广西铅锌矿勘查中发挥了重要作用,有效圈定了找矿靶区,指导了勘查工程布置,为危机矿山找矿提供了关键技术支持。

6.2 存在问题与建议

尽管综合物化探在广西铅锌矿勘查中取得了显著成果,但仍存在一些问题。如激电法在部分地区受干扰严重,需要进一步补充收集异常查证孔资料;一些矿区物探工作布置不够科学,测区零散,成果不完整。针对这些问题,建议加强对干扰因素的研究,改进物探方法技术;合理规划物探工作,提高物探工作的系统性和科学性;加强多学科融合,综合运用地质、物化探、遥感等技术手段,提高找矿成功率。

6.3 展望

随着科技的不断进步,新的物化探技术和方法将不断涌现。未来,应加强对新技术、新方法的研究和应用,如人工智能在物探数据处理和解释中的应用,提高物探工作的效率和精度。综合物化探在广西铅锌矿勘查中具有重要的应用价值,通过不断完善和创新,将为广西铅锌矿资源勘探带来新的突破,推动区域经济的发展。

参考文献

- [1] 黎海龙、陆怀成等.综合物化探在铅锌矿勘查中的应用研究报告[R].柳州:广西地球物理勘察院,2014.
- [2] 陈名权、李金表等.广西武宣盘龙铅锌矿区激电法详细普查总结报告[R].柳州:广西地球物理勘察院,2007.
- [3] 石土定等.广西岑溪市佛子冲铅锌矿田控矿因素与找矿方向研究[R].桂林:广西271地质队,2006.